HISTORIA DE LA CIENCIA

ARISTÓTELES

Aristóteles, que nació en la ciudad de Estagira alrededor del año 384 a.C. y fue hijo del médico de Amintas, rey de Macedonia, tuvo una posición privilegiada en la sociedad griega que le permitiría dedicar su vida al conocimiento. La magnitud de su obra y su influencia en la historia de la ciencia y en la historia de la cultura en general es única. Muchas de las ramas de lo que hoy conocemos dentro del campo de la filosofía, de la lógica, de la ética, de la metafísica, de la teología, y de algunas de las más importantes áreas de las ciencias naturales como la física, la astronomía, la historia natural, al igual que la historia o la literatura tienen, como punto de partida ineludible, el trabajo de Aristóteles. Su pensamiento y sus investigaciones dominaron el mundo intelectual de occidente por más de 2000 años. Podríamos pensar en personajes de enorme influencia en la historia de la ciencia como Isaac Newton, Charles Darwin o Albert Einstein, pero al comparar el tiempo durante el cual fueron determinantes sus concepciones del mundo y la variedad de campos en los que hicieron contribuciones, no tendrían comparación con la obra de Aristóteles. El hecho de que su obra sea el punto de partida de innumerables problemas académicos desde la antigüedad hasta el renacimiento, y que formara parte central de los curricula de las universidades europeas, le da a Aristóteles un protagonismo fundamental en la historia de la ciencia occidental. En particular, su física y su cosmología deben estudiarse con cuidado ya que toda la revolución científica de los siglos XVI y XVII y el surgimiento de la ciencia moderna pueden ser explicados como un gradual rompimiento con la concepción aristotélica del mundo.

HISTORIA CIENCIA

De joven, Aristóteles fue enviado a Atenas a estudiar en la Academia de Platón donde permanecería por veinte años hasta el día en que murió su maestro. En los años siguientes, viajó por las regiones del Asia menor dedicándose principalmente a la historia natural, hasta que fue invitado a ser el tutor de Alejandro, entonces heredero del trono de Macedonia y quien más tarde consolidaría el imperio más

grande de la antigüedad. Una vez Alejandro se convirtió en rey y Atenas cayó bajo dominio macedónico, Aristóteles regresa a Atenas donde dedica el resto de sus días a enseñar en su propia escuela, el Liceo.

La magnitud de la obra de Aristóteles, así como la influencia que ejerció en el mundo occidental durante tanto tiempo, se explica, en parte, por la relación que tuvo con Alejandro. La gran extensión de territorios que lograría dominar el Imperio le permitiría a Aristóteles acumular conocimiento como ningún otro individuo y al mismo tiempo haría posible que su obra pudiera ser divulgada con más facilidad. No es nuestra intención cubrir todos sus aportes a la historia de la filosofía y de las ciencias, sólo nos limitaremos a exponer con cierto cuidado sus contribuciones a la física y la cosmología, las dos ramas de su pensamiento más discutidas por los creadores de la "ciencia moderna". Es necesario, primero que todo, conocer algunos de sus planteamientos filosóficos para así poder tener claridad sobre la naturaleza de las preguntas que se propone resolver en estos dos campos.

HISTORIA DE LA CIENCIA

A. Epistemología y explicación causal

El punto de partida del conocimiento para Aristóteles no es un mundo de Formas abstractas e Ideas, como lo era para Platón, ni tampoco de números, como lo era para los pitagóricos. Por el contrario, para él la base del conocimiento está en el mundo físico que nos rodea, en la experiencia. Para Aristóteles, las matemáticas son una ciencia fundamental de enorme importancia, pero más que ser la esencia misma del conocimiento son una herramienta, un medio para el conocimiento de la naturaleza. Para conocer el mundo, dice Aristóteles, se requiere mucho más que ideas y números, pues para él no hay nada en la mente que no haya pasado por los sentidos. En efecto, la mente de cada individuo al nacer es como una hoja en blanco que sólo recibe impresiones a través de los sentidos. Pero como el conocimiento es conocimiento de universales (esto es, de conceptos más o menos abstractos) y no de particulares, Aristóteles debe explicar cómo a partir de percepciones de individuos llegamos a conceptos que sólo existen en la mente y

no en la realidad (a diferencia de Platón, que suponía que las Ideas no sólo existían sino que era lo único que realmente existía; el mundo que percibimos es pura apariencia). Para el estagirita, podemos acceder a la esencia de un objeto (esto es, aquello que hace que una cosa sea esa cosa; por ejemplo, aquello que hace que el un hombre sea un hombre es la esencia de hombre, la humanidad) a través de la abstracción que separa (de nuevo, sólo en la mente) las particularidades de tal objeto de lo que comparte con los demás objetos de su misma clase; esto último es lo que llamamos esencia o forma en un sentido aristotélico (se debe tener mucha precaución con respecto a esto: forma en este sentido no es lo mismo que figura; forma aquí equivale a esencia).

De otro lado, conocer para Aristóteles es conocer la causa de las cosas. Pero, ¿qué quiere decir esto? Aristóteles nos habla de cuatro tipos de causas: material, formal, eficiente y final. La primera causa es la llamada causa “material”, es decir, aquella que responde a la pregunta por la materia de la cual están compuestas las cosas; la segunda es la “formal” que nos explica la esencia que ha hecho que esa materia sea lo que es y no cualquier otra cosa; la tercera es la causa “eficiente” que nos permite saber quién o qué y cómo hizo posible su existencia y finalmente está la causa “final”, la cual establece cuál es el propósito o fin del objeto. Si pensamos en artefactos, objetos fabricados por el hombre, podemos dar fácil respuesta a cada una de estas preguntas. Veamos un ejemplo para ilustrar sus ideas. Si consideramos por ejemplo un violín, las diferentes causas, respectivamente, nos dirían que, la causa material es la madera de la cual está hecha el violín, la causa formal es la esencia del violín, la causa eficiente es el fabricante de violines y el proceso mismo de producción, y, por último, la causa final sería el poder producir música. Por supuesto, para poder establecer cualquiera de los cuatro tipos de causas, el ser humano debe ser capaz de abstraer ciertos aspectos del objeto particular.

HISTORIA CIENCIA

La causa final merece una explicación más cuidadosa, en especial si no tratamos con objetos hechos por el hombre, sino con los objetos naturales en general. “Final” en este caso es sinónimo de “propósito”, “objetivo” o “meta” (telos en griego; de ahí el término “teleología” que significa la ciencia de los fines o metas). De esta manera, para Aristóteles el conocimiento de la naturaleza tiene que ver con el conocimiento de los fines y de la función (el para qué) que cumplen las cosas dentro del orden natural. Para que este tipo de razonamiento tenga sentido, tenemos que asumir que la naturaleza obra con arreglo a fines (esto es, debemos considerar la naturaleza desde un punto de vista teleológico). Él describe su concepción teleológica de esta manera: “Es absurdo suponer que no hay propósitos en la naturaleza porque no observamos el agente que los delibera. La mejor ilustración es un doctor que se receta a sí mismo. La naturaleza es una causa, una causa que opera con un propósito.” (Física, Libro II, parte 8) Este lenguaje teleológico usado por Aristóteles será parte fundamental de la concepción cristiana del mundo y no es del todo extraño en las ciencias naturales modernas.

HISTORIA DE LA CIENCIA

Pero aceptar que el universo para éste filósofo obedece a un plan ordenado no implica afirmar que es la obra y el resultado de un diseñador inteligente tal y como lo es para la tradición cristiana. Para Aristóteles el cosmos es eterno, no creado y no nos permite pensar en un creador como en el mundo cristiano, o como el ingeniero de la naturaleza. La causa final última, la que es principio de todo el movimiento en el universo, es el motor inmóvil (ver más abajo). De nuevo, tal causa final no puede ser identificada con el Dios de la tradición judeo-cristiana.

B. Movimiento y Cambio

La idea de movimiento (kinesis) no sólo es de central importancia dentro de la cosmología griega, sino que constituye uno de los elementos centrales en la aparición de la física moderna. A diferencia de la realidad platónica que es inmutable, en Aristóteles la realidad está en permanente cambio. Sin embargo,

para poder entender este concepto es preciso, en primer lugar, hacer una breve exposición sobre el problema filosófico del cambio a partir de Parménides y Heráclito y, posteriormente, referirnos a los conceptos aristotélicos de “Acto” y “Potencia”. Se podría ubicar el origen del problema del cambio en la filosofía griega en la siguiente formulación de Parménides: el ser (lo que existe) es (existe) y el no ser (la nada) no es (no existe). A partir de esto, el cambio se podría definir como el paso del ser al no ser (por ejemplo, en la corrupción o la muerte) o del no ser al ser (por ejemplo, en la generación o el nacimiento). Pero ya que el no ser (o la nada) no es, entonces no es comprensible que se pase de alguna manera a ser o que el ser pase de alguna manera al no ser. En otras palabras, lo único que hay, lo único que existe es el ser. Por lo tanto, el cambio no existe y los cambios o movimientos que percibimos son pura apariencia. Platón de alguna manera es heredero de esta concepción y asume que lo único que existe son las Ideas inmutables y las cosas que percibimos en este mundo son pura apariencia. Una de las consecuencias de este punto de vista es una falta de interés por todo lo terreno, por todo lo que cambie o se mueva. Las ciencias naturales tal y como las conocemos no tienen mucho sentido. Sin embargo, Aristóteles no sólo defiende la posibilidad de conocimiento acerca de la naturaleza sino que también afirma la existencia del cambio, esto es, afirma la posibilidad del paso del ser al no ser y viceversa. Para esto, presenta la distinción entre no ser absoluto y no ser relativo. Una semilla no es en absoluto una bolsa de plástico pero no es un árbol sólo en sentido relativo (esto es, no es pero puede llegar a ser). Cada individuo es lo que es en el presente pero “contiene” dentro de sí algo que no es (en sentido relativo) pero que puede llegar a ser en el futuro. De esta manera, Aristóteles piensa que Parménides y Platón tienen razón en cuanto a la relación entre ser y no ser absoluto, pero ignoraron la relación entre ser y no ser relativo que es la permite pensar el cambio.

Otra manera de llamar al ser, a lo que algo es en el presente, es acto; asimismo, el no ser relativo, lo que algo puede ser en el futuro pero no es en el presente, es

HISTORIA CIENCIA

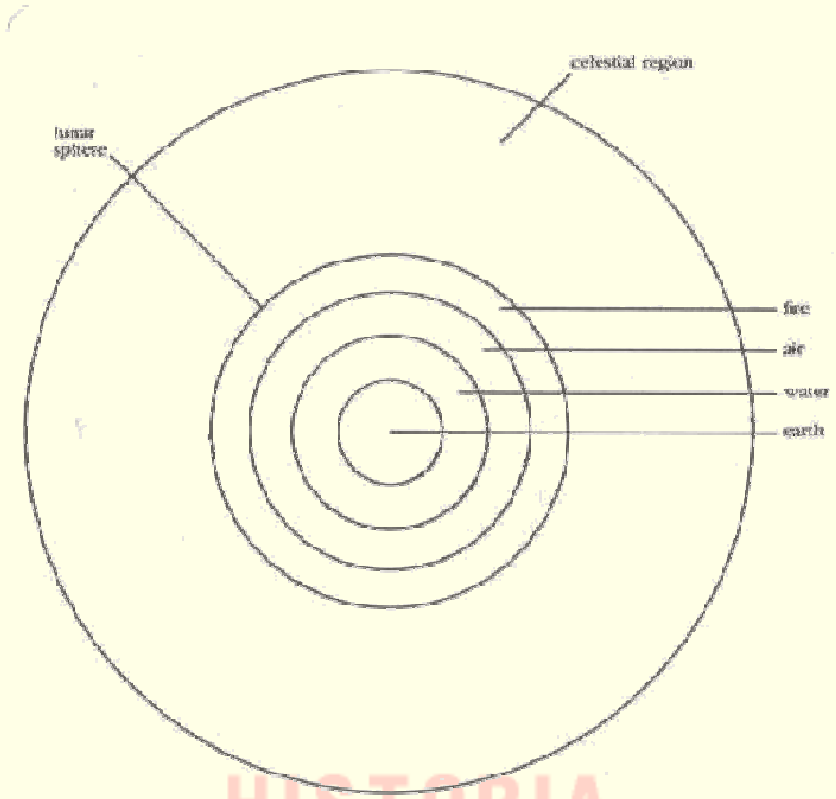
la potencia. El acto o ser actual de las cosas nos indica el estado de un objeto en un momento determinado. La potencia o ser potencial nos indica la capacidad que tiene ese objeto de convertirse en otra cosa. Para Aristóteles, el concepto de cambio se puede describir precisamente como la actualización de lo potencial. En otras palabras, algo está cambiando si tiene la capacidad de cambiar (esto es, si en potencia puede algo distinto) y si de hecho se encuentra en tal proceso de actualización de sus potencias. De esta manera, no sólo el cambio es posible sino también el conocimiento de la naturaleza que ya no es mera apariencia sino realidad.

Así, Aristóteles pasa a describir los cuatro tipos de cambio que él encuentra en la naturaleza: cambio en términos de substancia, calidad, cantidad y lugar. El cambio en términos de substancia hace referencia a la generación y destrucción; tal cambio ocurre, por ejemplo, cuando un hombre nace o muere, o cuando una estatua es creada o destruida. El cambio respecto a la cualidad (cualitativo) hace referencia a la alteración; así, por ejemplo, una vela cambia en términos de cualidad cuando se vuelve suave por el calor o se endurece con el frío. El cambio en términos de cantidad (cuantitativo) ocurre cuando algo crece o decrece, por ejemplo, cuando aumenta el tamaño de algún ser vivo. Finalmente, el cambio en términos de lugar es el movimiento de traslación de los cuerpos en el espacio. Aunque este cambio de lugar es, para Aristóteles, una de las varias formas de kinesis, nos vamos a concentrar en esta noción que será de especial importancia en la historia de la física y de la revolución científica del Renacimiento.

HISTORIA CIENCIA

El cosmos y el movimiento terrenal y celestial

Dentro de la concepción aristotélica del cosmos, la tierra es inmóvil, está en el centro del universo y los cuerpos celestes giran alrededor de ella en órbitas circulares perfectas.



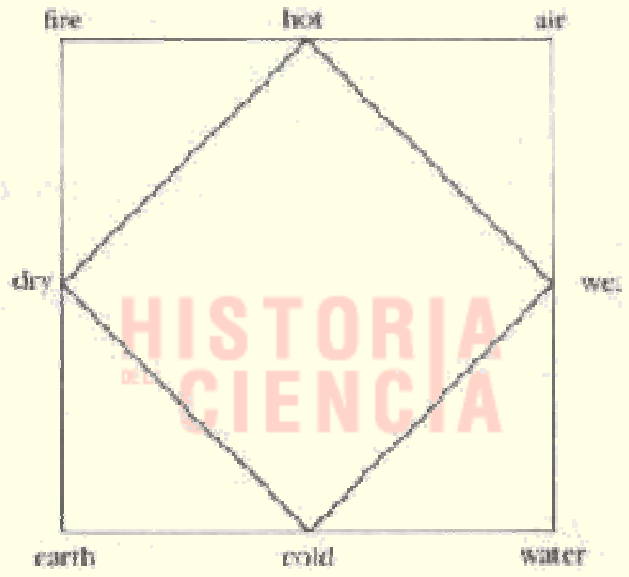
El cosmos aristotélico

HISTORIA DE LA CIENCIA

El universo como tal es eterno y está dividido en una región superior y una inferior cuyo límite es la órbita lunar. La región de la luna hacia arriba es la región supralunar, o región celeste, en donde todo permanece constante, incorruptible y está compuesto de una substancia divina, el éter. La región de la luna hacia al centro, la región sublunar o región terrestre, se caracteriza por tener cambios de todo tipo y está compuesta por los cuatro elementos primarios que ya habían sido propuestos por Empédocles y aceptados por Platón: Tierra, Agua, Fuego y Aire.

Aristóteles coincidía con Platón en afirmar que los cuatro elementos primarios eran reductibles a algo aun más fundamental (la substancia); sin embargo, no compartía con él su inclinación matemática y por lo tanto se rehusó a aceptar su explicación en relación con los sólidos regulares. Aristóteles abordó el problema desde una perspectiva en donde la experiencia sensorial es el mejor camino para

conocer el mundo y por lo tanto escogió dos pares de cualidades sensibles para reducir los elementos primarios: caliente-frío y húmedo-seco. La combinación de éstas produce cada uno de los cuatro elementos de la siguiente manera. Frío y seco producen la tierra; frío y húmedo el agua; caliente y frío el aire; caliente y seco el fuego. Este tipo de planteamiento explicaba fácilmente el cambio entre una substancia y otra por lo que se convertiría en una teoría fuertemente aceptada por la tradición alquimista.



Cuadro de la oposición de los elementos y cualidades aristotélicos.

El movimiento terrestre

El movimiento natural simple para Aristóteles puede ser, o bien en línea recta – hacia el centro del universo o alejándose de él –, y en círculos alrededor del centro del universo.

Si podemos explicar las propiedades naturales de estos cinco elementos básicos del cosmos, entenderemos la forma en que Aristóteles concibió la física y el movimiento. Empecemos, pues, por entender la física en la región sublunar. En

esta zona, el movimiento sólo puede ser en línea recta, es decir, hacia el centro del universo o alejándose de éste. Cada uno de los cuatro elementos tiene un movimiento natural, y a partir de ellos podemos describir el movimiento que va a tener cualquier cuerpo.

El fuego y el aire al ser elementos ligeros tienen la tendencia a alejarse del centro, siendo el fuego el más ligero de los dos. Por su parte, la tierra y el agua, al ser elemento pesados, tienden hacia el centro, siendo la tierra la más pesada. En la naturaleza encontramos cuerpos mixtos cuya composición tiene varios elementos. Tales cuerpos compuestos tendrán la tendencia de alejarse o acercarse al centro del universo según el elemento predominante en ellos.

El movimiento violento

Aunque el movimiento descrito hasta ahora se presenta de manera natural, también observamos movimientos violentos o forzados que por una causa exterior van en contra de su tendencia natural. Es preciso entender que para Aristóteles no existe un movimiento espontáneo. Todo movimiento debe tener una causa, esto es, todo lo que se mueve es movido por algo, todo móvil requiere un motor, y en el caso del movimiento forzado tal motor es una fuerza externa que obliga a que el objeto rompa con su tendencia natural. El objeto se moverá mientras esté en contacto con ese motor y se detendrá cuando pierda contacto con esta fuerza y retorne a su estado natural dentro del cosmos. La pregunta que surge entonces es cómo explicar que una roca lanzada por un hombre no se detenga al perder contacto con la mano que la está impulsando. Para Aristóteles, el medio sirve de motor cuando la roca abandona la mano. En otras palabras, la mano ha activado o movido el aire y éste a su vez mantiene a la roca en movimiento.

Sin embargo, la fuerza impulsora no es el único determinante del movimiento. De acuerdo con Aristóteles, no es posible la existencia del vacío y, por lo tanto, todo movimiento debe necesariamente ocurrir en algún medio y en cada caso existirá

HISTORIA CIENCIA

una fuerza de resistencia que se opone al movimiento. A partir de la física de aristotélica se puede concluir que la rapidez de un movimiento está determinada por la relación entre la fuerza impulsora y la fuerza de resistencia. Tal sistema físico tiene algunas consecuencias interesantes que mencionaremos a continuación. Por ejemplo, si consideramos dos cuerpos en caída libre, el tiempo que demorarán en recorrer la misma distancia será inversamente proporcional a su peso, es decir, mientras más pesado el cuerpo, más rápido descenderá; así, si dos cuerpos del mismo peso se mueven por medios con diferente densidad, el tiempo para recorrer cierta distancia será proporcional a la densidad del medio. Por último, si una fuerza dada mueve un objeto por cierta distancia en un cierto tiempo la misma fuerza moverá a un cuerpo con la mitad del peso, el doble de la distancia en ese mismo tiempo. Posteriormente, esto fue formulado en términos de una “ley general”, donde la velocidad (V) es proporcional a la fuerza motiva (F) e inversamente proporcional a la resistencia (R) [$V \propto F / R$]; y, para el caso especial del descenso natural de un cuerpo pesado, la fuerza motiva es el peso (P) del cuerpo. [$V \propto P / R$].

HISTORIA DE LA CIENCIA

El movimiento celestial

El movimiento de los cuerpos celestes presenta un comportamiento distinto de aquel descrito en la tierra. Los cuerpos de la región supralunar, como habíamos establecido más arriba, están compuestos de un quinto elemento -el éter-, una sustancia perfecta de características divinas cuyo movimiento circular y constante refleja su perfección. Para Aristóteles este movimiento no puede ser otro que el movimiento circular. Sin embargo, ¿cuál sería la causa del movimiento de los cuerpos celestes? Recordemos que todo movimiento debe tener una causa o un motor que lo produzca. De otro lado, el infinito para Aristóteles era impensable. Si suponemos por un momento que todo lo que mueve se mueve a la vez y que, de nuevo, todo lo que se mueve debe ser movido por algo, entonces necesariamente tendríamos que suponer una cadena infinita de causas (en el caso de los astros,

Mercurio movería a la luna, Venus a Mercurio, el sol a Venus, Marte al sol, y así hasta el infinito).

Entonces nuestra suposición debe ser incorrecta pues nos conduce a un absurdo (el infinito) y debe existir un motor que mueva pero él mismo sea inmóvil y que por lo tanto no necesite un motor adicional para explicar su movimiento. A tal motor o causa última (pues toda explicación causal del movimiento termina en ella) o primera (pues es el principio y el origen de todo el movimiento) la llamó Aristóteles "motor inmóvil" y la aparente contradicción que implica asumir que algo inmóvil es el origen de todo el movimiento cósmico puede ser resuelta a partir de los conceptos de acto y potencia expuestos anteriormente. Algún cuerpo u objeto está en movimiento en la medida en que es potencialmente algo y está ejerciendo o actualizando esa potencialidad. En el caso de esta causa inmóvil, asumimos que es acto puro, es decir, no tiene potencialidad alguna, pero su naturaleza en sí le permite generar el movimiento. Pero, ¿qué tipo de causa puede ser el motor inmóvil? No puede ser causa eficiente pues esta implica la idea de un motor en movimiento; tampoco puede ser causa material pues esta implica potencia (por lo tanto, el motor inmóvil es también pura forma o esencia sin materia); por último, tampoco puede ser causa formal pues no es la esencia o forma del resto del universo. El motor inmóvil es causa final pues, para Aristóteles, todo el universo se mueve y transforma tendiendo a alcanzar su perfección no cambiante.

HISTORIA CIENCIA

Si bien la física moderna podría presentar argumentos en contra de los planteamientos aristotélicos y sus concepciones acerca del movimiento y el cosmos, debemos entender que la apropiada medida de un sistema filosófico no es el grado en que éste se acerca o anticipa el pensamiento moderno, sino más bien el éxito que tiene al ocuparse de los problemas de su tiempo.

HISTORIA DE LA CIENCIA